

PERIODICAL STRUCTURE OF CRYSTAL AND METHOD FOR FORMING THE SAME

Patent number: JP2004172424
 Publication date: 2004-06-17
 Inventor: KOBAYASHI NAOYUKI; KUSAMA HIDEAKI; UCHIDA RYOHEI
 Applicant: JAPAN STEEL WORKS LTD
 Classification:
 - international: G02B5/18; H01L21/20; H01L21/268; G02B5/18; H01L21/02;
 (IPC1-7): H01L21/20; G02B5/18; H01L21/268
 - european:
 Application number: JP20020337361 20021121
 Priority number(s): JP20020337361 20021121

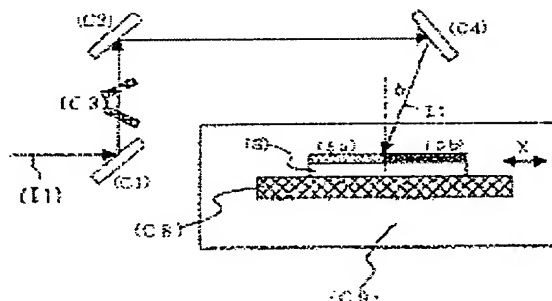
Report a data error here

Abstract of JP2004172424

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the difficulty of prior art that it is impossible to form a good periodical structure comprising crystal grains on a flat specimen while irradiating the flat specimen with laser light with high output kept unchanged, without changing the polarization of the laser light to linear polarization before the specimen is irradiated with the laser light, and the crystal grains do not have periodicity in a specific direction, and further the periodicity can not exceed the wavelength of the laser light.

SOLUTION: The method is adapted to form the periodical structure comprising the crystal grains of the specimen 5 while irradiating the flat specimen 5 with the laser light. In the method, the laser light I1 comprising parallel light beams not linear polarization is adapted to be incident on the specimen 5 from the one incident surface I2 at $[\phi] > 1[\text{deg.}]$ degree incident angle $[\phi]$, whereby the periodical structure forming an orthogonal interval D_y is formed by being partitioned by the crystal grains disposed in parallel to the incident surface I2 of the laser light I1.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Family list

1 family member for:

JP2004172424

Derived from 1 application.

[Back to JP2004172424](#)

1 PERIODICAL STRUCTURE OF CRYSTAL AND METHOD FOR FORMING THE SAME

Publication info: JP2004172424 A - 2004-06-17

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-172424

(P2004-172424A)

(43) 公開日 平成16年6月17日(2004.6.17)

(51) Int. Cl. ⁷	F 1	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/20	HO 1 L 21/20	2 H 0 4 9
GO 2 B 5/18	GO 2 B 5/18	5 F 0 5 2
HO 1 L 21/268	HO 1 L 21/268 J	

審査請求 有 請求項の数 12 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2002-337361 (P2002-337361)	(71) 出願人	000004215
(22) 出願日	平成14年11月21日 (2002.11.21)		株式会社日本製鋼所
			東京都千代田区有楽町一丁目1番2号
		(74) 代理人	100083828
			弁理士 前田 宏之
		(72) 発明者	小林 直之
			神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号
			株式会社日本製鋼所内
		(72) 発明者	草間 秀晃
			神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号
			株式会社日本製鋼所内

最終頁に続く

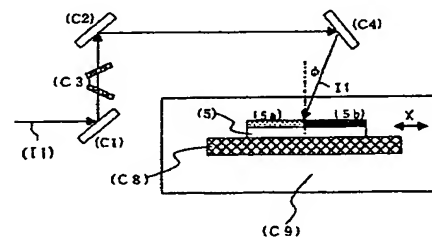
(54) 【発明の名称】 結晶の周期性構造の形成方法及びその装置並びに結晶の周期性構造

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光を試料に照射する前に直線偏光にすることなく、レーザ光線を高出力のまま平坦な試料に照射させながら、試料上に結晶粒からなる良好な周期性構造を形成することができない。結晶粒は、特定の方向に周期性を有しておらず、かつ、レーザ光の波長より大きくできない。

【解決手段】 レーザ光線を平坦な試料5に照射させ、試料5上に結晶粒からなる周期性構造を形成する方法であつて、直線偏光でない平行光線からなる1つのレーザ光線I1を、入射角 $\phi > 1$ 度で1つの入射面I2から試料5に入射させることで、該レーザ光線I1の入射面I2に平行な結晶粒界で仕切られて直交間隔Dyをなす周期性構造を形成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光線を平坦な試料(5)に照射させ、試料(5)上に結晶粒からなる周期性構造を形成する方法であつて、

直線偏光でない平行光線からなる1つのレーザ光線(I1)を、入射角(ϕ) $>1^\circ$ で1つの入射面(I2)から試料(5)に入射させることで、該レーザ光線(I1)の入射面(I2)に平行な結晶粒界で仕切られて直交間隔(Dy)をなす周期性構造を形成することを特徴とする結晶の周期性構造の形成方法。

【請求項2】

前記入射面(I2)と直交する方向の結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の間隔(Dx)10
を、レーザ光線(I1)の入射角(ϕ)の大きさによつてコントロールすることを特徴とする請求項1の結晶の周期性構造の形成方法。

【請求項3】

レーザ光線(I1)は、紫外線を発生するエキシマレーザであり、レーザ光線(I1)を照射する試料(5)は、a-Si膜であり、a-Si膜は、レーザ光線(I1)の複数回の照射により再結晶化し、結晶粒はレーザ光線(I1)の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成されることを特徴とする請求項1又は2の結晶の周期性構造の形成方法。

【請求項4】

前記試料(5)は薄膜トランジスターであり、前記入射面(I2)と直交する方向の結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の間隔Dxが、薄膜トランジスターのソース・ドレイン(H5)の間隔Lに対して、 $L = m \cdot Dx / \cos \omega$ (mは整数)、 ω はソース・ドレイン(H5)の辺(H2)と結晶粒界(H4)とのなす角度となるように、レーザ光線(I1)の入射角(ϕ)を調整することを特徴とする請求項1、2又は3の結晶の周期性構造の形成方法。20

【請求項5】

前記試料(5)は薄膜トランジスターであり、結晶の周期性の直交間隔Dyが、薄膜トランジスターのソース・ドレイン(H5)の間隔Lに対して、 $L = m \cdot Dy / \cos \omega$ (mは整数)、 ω はソース・ドレイン(H5)の辺(H2)と結晶粒界(H4)とのなす角度となるように、レーザ光線(I1)の波長(λ)を調整することを特徴とする請求項1、2又は3の結晶の周期性構造の形成方法。30

【請求項6】

形成した結晶の周期性構造を、試料(5)の入射面(I2)又は入射面(I2)と直交する方向の直交入射面(I5)に対して直交する入射面(I5又はI2)より計測装置の平行光からなる光束(31)を入射して計測し、計測装置の回折光(32)のスペクトルのピーク強度(I_{max})が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線(I1)の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の分布の規則性を良好にすると共に、

前記計測装置が、前記レーザ光線(I1)により結晶化した試料(5)の表面に、試料(5)平面からの法線(z_n)と計測用入射角(α)をなす平行光からなる光束(31)を入射させる光源(41、42)と、この光束(31)による試料(5)の表面からの回折光(32)を、前記法線(z_n)と回折角(β)をなす位置で受光してスペクトルを示す分光器(46)とを備えるものを用い、40

計測用入射角(α)及び回折角(β)の範囲は、共に 0° 以上で 90° 以下の範囲に限定して正反射光(35)を含まない回折光(32)を得、回折光(32)のスペクトルのピーク強度(I_{max})から、試料(5)における結晶粒の分布の規則性を評価することを特徴とする請求項1、2、3、4又は5の結晶の周期性構造の形成方法。

【請求項7】

直線偏光でない1つのレーザ光線(I1)、

レーザ光線I1を整形するホモジナイザー(A1、A2)、

平行光線からなる該レーザ光線(I1)をホモジナイザー(A1、A2)を通して入射角50

(ϕ)を与えて1つの入射面(I2)から試料(5)に照射し、かつ、入射角(ϕ)を1度以上とする光学系手段(C4, C8)、及び試料(5)を載せて駆動装置によつて駆動される試料台(C8)を有し、試料台(C8)を移動させながら試料(5)に結晶の周期性構造を形成することを特徴とする結晶の周期性構造の形成装置。

【請求項8】

レーザ光線(I1)は、紫外線を発生するエキシマレーザであり、前記試料(5)は、a-Si膜(5a)であり、該a-Si膜(5a)は、前記レーザ光線(I1)の複数回の照射により再結晶化してp-Si膜(5b)となり、p-Si膜(5b)の結晶粒はレーザ光線(I1)の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成されていることを特徴とする請求項7の結晶の周期性構造の形成装置。 10

【請求項9】

前記入射面(I2)と直交する方向の結晶粒界(H4)で仕切られる結晶の周期性の間隔 D_x が、薄膜トランジスタのソース・ドレイン(H5)の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_x / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン(H5)の辺(H2)と結晶粒界(H4)とのなす角度となるように、レーザ光線(I1)の入射角(ϕ)の大きさを調整することを特徴とする請求項8の結晶の周期性構造の形成装置。

【請求項10】

前記入射面(I2)と平行な結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の直交間隔 D_y が、薄膜トランジスタのソース・ドレイン(H5)の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_y / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン(H5)の辺(H2)と結晶粒界(H4)とのなす角度となるように、レーザ光線(I1)の波長(λ)を調整することを特徴とする請求項8の結晶の周期性構造の形成方法。 20

【請求項11】

形成した結晶の周期性構造を、試料(5)の入射面(I2)又は入射面(I2)と直交する方向の直交入射面(I5)に対して直交する入射面(I5又はI2)より計測装置の平行光からなる光束(31)を入射して計測し、計測装置の回折光(32)のスペクトルのピーク強度(I_{max})が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線(I1)の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の分布の規則性を良好にすると共に、 30

前記計測装置が、前記レーザ光線(I1)により結晶化した試料(5)の表面に、試料(5)平面からの法線(z_n)と計測用入射角(α)をなす平行光からなる光束(31)を入射させる光源(41, 42)と、この光束(31)による試料(5)の表面からの回折光(32)を、前記法線(z_n)と回折角(β)をなす位置で受光してスペクトルを示す分光器(46)とを備えるものを用い、

計測用入射角(α)及び回折角(β)の範囲は、共に 0° 以上で 90° 以下の範囲に限定して正反射光(35)を含まない回折光(32)を得、回折光(32)のスペクトルのピーク強度(I_{max})から、試料(5)における結晶粒の分布の規則性を評価することを特徴とする請求項7, 8, 9又は10の結晶の周期性構造の形成装置。 40

【請求項12】

レーザ光線(I1)を平坦な試料(5)に照射させて試料(5)上に形成する周期性構造をなす結晶の結晶粒界が、対向する2辺が平行をなすことを特徴とする結晶の周期性構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶の周期性構造の形成方法及びその装置並びに結晶の周期性構造に関し、詳しくは、液晶表示装置などに用いられる多結晶半導体膜において、試料上に結晶粒からなる周期性構造を形成する方法及びその装置並びに結晶の周期性構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

1. ラインビームによる結晶化

例えば、液晶表示装置に用いられる薄膜トランジスタの結晶化シリコンの製造に際し、ラインビームからなるレーザ光を試料に照射する方法が知られている。これは、図18に示すように、パルス・レーザからなるエキシマレーザ光を発生させるレーザ発振器3aで生じさせたレーザ光2を、光学系容器9内に導き、アッテネータ7を通した後に反射ミラー3bで方向転換させ、長軸ホモジナイザーA1及び長軸ホモジナイザーA1と稜線方向が直交する短軸ホモジナイザーA2並びに反射ミラー3cを通し、更に投影レンズ11を通し、長軸×短軸が約 200×0.4 mmの方形のラインビームからなるレーザ光線I1に整形して強度分布を矩形状に均一化させ、このレーザ光線I1を試料5に照射している。長軸ホモジナイザーA1及び短軸ホモジナイザーA2は、図19に示すように複数本のシリンドリカル・レンズA3を稜線A4が平行になるように並べて構成されている。図18に示す符号10はレーザ光線I1の光軸である。試料5は、レーザアニール装置の真空又は窒素の照射室内に設置されている。

【0003】

この場合の試料5は、ガラス基板6の上側に薄いa-Si（アモルファス・シリコン）膜5aを形成したもので、このa-Si膜5aに、レーザ光線I1を照射することで、a-Si膜5aを結晶化して薄いp-Si（ポリ・シリコン）膜5bとしている。ガラス基板6は大きいもので 730×920 mmあり、ガラス基板6上のa-Si膜5aの全面を結晶化するために、レーザ光線I1の1ショットあたり、ラインビーム短軸幅の5～10%の送りピッチでガラス基板6をレーザ光線I1の短軸の方向に間欠的に移動させる。試料5は、試料台5Aに載置され、試料台5Aが図外の駆動装置によつて直交するXY方向に適宜に間欠的に駆動される。短軸幅0.4 mmのとき送りピッチは $20 \sim 40 \mu\text{m}$ であり、試料5の1箇所当たりのレーザ光の照射回数は通常10～20回である。

【0004】

ここで、レーザ光2のパルス幅（発光時間）は一般に数～数十ns、発振周波数は数百Hz以下であるため、レーザ光線I1の試料5への照射が数～数十ns行われた後、数msの比較的長時間の間隔が開いて、再び数～数十nsの照射が行われている。試料5への複数回の照射を行うことで、結晶が成長する。この結晶の成長は、1回目の照射で発生した結晶粒が、2回目以降の照射により結合して大きくなるものと考えられている。この結晶の成長のためには、試料5が冷却（常温）の状態から熔融温度近傍まで上昇するように、レーザ光2の照射を実施する必要がある。ラインビーム化するのは、ラインビーム端部と平坦部の結晶性が異なるためで、ラインビーム端部は液晶表示装置のトランジスタとして使われていない。

【0005】

このような方法で製造したp-Si膜5bの結晶性は、レーザ光2のエネルギー密度に大きく依存し、エネルギー密度が低すぎても、高すぎても良好に得られない。そして、最適なエネルギー密度で製造すると、図17に示すp-Si膜5bのSEM（走査型電子顕微鏡）写真のように、おおよそレーザ光2の波長（ $\lambda = 308 \text{ nm}$ ）に等しい大きさの結晶粒が得られる。ここで、図17の ϕ （ $\phi = 0^\circ$ ）は、光軸10の試料5への入射角で、光軸10と試料5の法線とのなす角度（ 0° ）である。

【0006】

レーザ光2の波長の大きさに等しい結晶粒が得られる原因は、特開平10-256152に記載されているように、レーザ光2の照射で半導体膜が融解・再結晶化した後に形成される表面荒れが、光散乱（光分割）の起点となるためと考えられている。この表面荒れは、基本的には固液状態での密度変化に起因するもので、固化が横方向に進み結晶粒が成長したときの固化の終点（粒界部）に凹凸が形成される現象として定性的に理解される。そして、この半導体膜の荒れた表面にレーザ光を再び照射すると、この凹凸部で散乱された散乱光同士が干渉し、膜表面に定在波を形成するのである。従つて、多重回照射では、この過程を繰り返す中で最終的に特定の周期の凹凸パターンが半導体膜の表面に形成される

(J. Sipe, J. F. Young, J. S. Perston, and H. M. van Driel, Phys. Rev. B 27, 1141, 1155, 2001 (1983)).

【0007】

2. 直線偏光による周期性のある結晶の形成

直線偏光のレーザ光を a-Si 膜に斜入射することで、レーザ光の波長より大きい結晶粒を形成することが試みられている (Horita, "Alignment of grain boundary in a Si film crystallized by a linearly polarized laser beam on a glass substrate, APL, 9 April 2001)。この方法によれば、入射する平面波と、反射した平面波との干渉によつて、入射面に垂直な方向の周期構造が、入射角: ϕ のとき、 $D = \lambda / (1 - \sin \phi)$ の間隔で形成できるとしている。

【0008】

3. 二光束干渉による周期性のある結晶の形成

結晶を大粒径化し周期性をもたせる手段としては、特開平 10-256152 に記載されているように、2つのレーザ光を、a-Si 膜の表面の所定位置に定在波が形成するような入射角度で前後から照射し、前記所定位置に該定在波と同周期の熱密度分布を発生させ融解を行う方法がある。この方法は、レーザ光を a-Si 膜の表面で干渉させることにより定在波を形成する。そして、その定在波の周期は、レーザ光の波長を λ' 、入射角を θ' とすれば、 $\lambda' / (2 \sin \theta')$ となる。従つて、一定のレーザ光の波長に対して、入射角を調整することにより、定在波の周期、つまり半導体表面に形成される熱密度分布の周期を高精度に制御することができるとしている。この方法は、例えば、特開平 10-39125 にある二光束干渉法であつて、回折格子の製造等に使われている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

1. ラインビームによる結晶化の課題

従来のエキシマレーザ光を使つたラインビーム法により作製した結晶の大きさは、レーザ光の波長にほぼ等しく、波長より大きい結晶を均一に作製することはできなかつた。また、結晶粒は、図 17 から分かるように特定の方向に周期性を有していなかつた。

【0010】

2. 直線偏光による周期性のある結晶形成の課題

a-Si 膜への吸収力が高い紫外領域の光を発し、高出力のパルス光が得られるレーザとして、エキシマレーザが使われている。エキシマレーザ光は、特定の偏光を持たないランダム偏光である。エキシマレーザ光を直線偏光にするためには偏光板などを使う必要があるため、出力が著しく低下する。このため、直線偏光でないレーザ光線を試料に照射させて、試料に結晶の周期性構造を形成することが望まれる。

【0011】

3. 二光束干渉による周期性のある結晶形成の課題

1つの入射面からの2つのレーザ光を、a-Si 膜の表面の所定位置に定在波が形成するような入射角度で前後から照射しなければならず、光学系の構成が複雑になる。特に、1つの入射面から2つのレーザ光を入射させ、定在波の周期を、レーザ光の波長を λ' 、入射角を θ' として、 $\lambda' / (2 \sin \theta')$ とするので、波長: λ' より大きな定在波の周期を得るための入射角 θ' に制限を受けるのみならず、構造が複雑になる。また、例えば、エキシマレーザ光 (波長 308 nm) を使つて、二光束干渉により $1 \mu\text{m}$ の大きさの結晶粒を形成する場合、二光線の入射角 $\theta' = \arcsin (\lambda' / 2 \cdot 1 \mu\text{m}) = 8.9^\circ$ で開口数 $NA = n \cdot \sin \theta' = n \cdot 0.154$ となる。このとき、焦点深度 $DOF = K \cdot \lambda / NA^2 = K' \cdot 1.3 \mu\text{m}$ である。前記のラインビームを使つた図 18 の装置は、投影レンズ 3 による $NA = 0.05$ で、 $DOF = K' \cdot 9.5 \mu\text{m}$ であるため、二光束干渉を使うと図 18 の装置に比べ焦点深度が狭くなり、光学系と試料台との位置関係の精度が要求され、装置構成が複雑で高価になる。

【0012】

4. p-Si膜を薄膜トランジスタ（以下「TFET」という。）に使用する場合、TFET特性はソース・ドレイン間の結晶粒界の数に依存し、粒界数が少ないほど電気的特性がよい。従つて、ガラス基板全体のTFET特性を均一にするためには、結晶粒が大きく均一であることが望ましい。また、結晶の周期性の方向が分かっているれば、ソース・ドレイン間の結晶粒界数が少なくなるように、ソース・ドレインを配置することが可能となる。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、このような従来の技術的課題に鑑みてなされたもので、その構成は、次の通りである。

10

請求項1の発明は、レーザ光線を平坦な試料5に照射させ、試料5上に結晶粒からなる周期性構造を形成する方法であつて、

直線偏光でない平行光線からなる1つのレーザ光線I1を、入射角 $\phi > 1^\circ$ で1つの入射面I2から試料5に入射させることで、該レーザ光線I1の入射面I2に平行な結晶粒界で仕切られて直交間隔Dyをなす周期性構造を形成することを特徴とする結晶の周期性構造の形成方法である。

請求項2の発明は、前記入射面I2と直交する方向の結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の間隔Dxを、レーザ光線I1の入射角 ϕ の大きさによつてコントロールすることを特徴とする請求項1の結晶の周期性構造の形成方法である。

請求項3の発明は、レーザ光線I1は、紫外線を発生するエキシマレーザであり、レーザ光線I1を照射する試料5は、a-Si膜であり、a-Si膜は、レーザ光線I1の複数回の照射により再結晶化し、結晶粒はレーザ光線I1の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成されることを特徴とする請求項1又は2の結晶の周期性構造の形成方法である。

20

請求項4の発明は、前記試料5は薄膜トランジスタであり、前記入射面I2と直交する方向の結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の間隔Dxが、薄膜トランジスタのソース・ドレインH5の間隔Lに対して、 $L = m \cdot Dx / \cos \omega$ （mは整数）、 ω はソース・ドレインH5の辺H2と結晶粒界H4とのなす角度となるように、レーザ光線I1の入射角 ϕ を調整することを特徴とする請求項1、2又は3の結晶の周期性構造の形成方法である。

30

請求項5の発明は、前記試料5は薄膜トランジスタであり、結晶の周期性の直交間隔Dyが、薄膜トランジスタのソース・ドレインH5の間隔Lに対して、 $L = m \cdot Dy / \cos \omega$ （mは整数）、 ω はソース・ドレインH5の辺H2と結晶粒界H4とのなす角度となるように、レーザ光線I1の波長 λ を調整することを特徴とする請求項1、2又は3の結晶の周期性構造の形成方法である。

請求項6の発明は、形成した結晶の周期性構造を、試料5の入射面I2又は入射面I2と直交する方向の直交入射面I5に対して直交する入射面（I5又はI2）より計測装置の平行光からなる光束31を入射して計測し、計測装置の回折光32のスペクトルのピーク強度Imaxが所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線I1の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の分布の規則性を良好にすると共に、

40

前記計測装置が、前記レーザ光線I1により結晶化した試料5の表面に、試料5平面からの法線znと計測用入射角 α をなす平行光からなる光束31を入射させる光源41、42と、この光束31による試料5の表面からの回折光32を、前記法線znと回折角 β をなす位置で受光してスペクトルを示す分光器46とを備えるものを用い、

計測用入射角 α 及び回折角 β の範囲は、共に 0° 以上で 90° 以下の範囲に限定して正反射光35を含まない回折光32を得、回折光32のスペクトルのピーク強度Imaxから、試料5における結晶粒の分布の規則性を評価することを特徴とする請求項1、2、3、4又は5の結晶の周期性構造の形成方法である。

請求項7の発明は、直線偏光でない1つのレーザ光線I1、

レーザ光線I1を整形するホモジナイザーA1、A2、

50

平行光線からなる該レーザ光線 I 1 をホモジナイザー A 1, A 2 を通して入射角 ϕ を与えて 1 つの入射面 I 2 から試料 5 に照射し、かつ、入射角 ϕ を 1 度以上とする光学系手段 (C 4, C 8)、

及び試料 5 を載せて駆動装置によつて駆動される試料台 C 8 を有し、

試料台 C 8 を移動させながら試料 5 に結晶の周期性構造を形成することを特徴とする結晶の周期性構造の形成装置である。

請求項 8 の発明は、レーザ光線 I 1 は、紫外線を発生するエキシマレーザであり、前記試料 5 は、a-Si 膜 5 a であり、該 a-Si 膜 5 a は、前記レーザ光線 I 1 の複数回の照射により再結晶化して p-Si 膜 5 b となり、p-Si 膜 5 b の結晶粒はレーザ光線 I 1 の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成されていることを特徴とする請求項 7 の結晶の周期性構造の形成装置である。 10

請求項 9 の発明は、前記入射面 I 2 と直交する方向の結晶粒界 H 4 で仕切られる結晶の周期性の間隔 D_x が、薄膜トランジスターのソース・ドレイン H 5 の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_x / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン H 5 の辺 H 2 と結晶粒界 H 4 とのなす角度となるように、レーザ光線 I 1 の入射角 ϕ の大きさを調整することを特徴とする請求項 8 の結晶の周期性構造の形成装置である。

請求項 10 の発明は、前記入射面 I 2 と平行な結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の直交間隔 D_y が、薄膜トランジスターのソース・ドレイン H 5 の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_y / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン H 5 の辺 H 2 と結晶粒界 H 4 とのなす角度となるように、レーザ光線 I 1 の波長 λ を調整することを特徴とする請求項 8 の結晶の周期性構造の形成方法である。 20

請求項 11 の発明は、形成した結晶の周期性構造を、試料 5 の入射面 I 2 又は入射面 I 2 と直交する方向の直交入射面 I 5 に対して直交する入射面 (I 5 又は I 2) より計測装置の平行光からなる光束 3 1 を入射して計測し、計測装置の回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線 I 1 の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の分布の規則性を良好にすると共に、

前記計測装置が、前記レーザ光線 I 1 により結晶化した試料 5 の表面に、試料 5 平面からの法線 z_n と計測用入射角 α をなす平行光からなる光束 3 1 を入射させる光源 4 1, 4 2 と、この光束 3 1 による試料 5 の表面からの回折光 3 2 を、前記法線 z_n と回折角 β をなす位置で受光してスペクトルを示す分光器 4 6 とを備えるものを用い、 30

計測用入射角 α 及び回折角 β の範囲は、共に 0° 以上で 90° 以下の範囲に限定して正反射光 3 5 を含まない回折光 3 2 を得、回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} から、試料 5 における結晶粒の分布の規則性を評価することを特徴とする請求項 7, 8, 9 又は 10 の結晶の周期性構造の形成装置である。

請求項 12 の発明は、レーザ光線 I 1 を平坦な試料 5 に照射させて試料 5 上に形成する周期性構造をなす結晶の結晶粒界が、対向する 2 辺が平行をなすことを特徴とする結晶の周期性構造である。

【0014】

本発明の概要について説明する。

本発明者等は、図 18 に示す装置を使用し、ラインビームからなるレーザ光線 I 1 の短軸方向の a-Si 膜 5 a への入射角 (ϕ) が 5° となるようにミラー 3 c 及び投影レンズ 1 1 を図 18 (a) に示す状態から傾けたところ、図 16 に示すような矩形で周期性のある結晶が得られた。 40

【0015】

このような結晶の周期性が発生する原因を究明するため調査を行つたところ、この周期性構造は入射波と反射波との干渉により発生するもので、特定の方向に偏光していないレーザ光線 I 1 が平坦な試料 5 で反射すると、反射光は試料 5 表面の凹凸で発生した球面波で、その電場強度分布は入射光 (I 1) の入射面に垂直な方向で強い (平井、レーザ技術、P 185 など) ためであるとすれば説明できることを見いだした。この知見を基に、特定の偏光を持たないレーザ光 (例えばエキシマレーザ) を、試料 5 の a-Si 膜に後述す 50

る条件で照射することで、結晶の周期性及び結晶粒径をコントロールする方法を発明するに至った。なお、エキシマレーザは、a-Si膜5aに照射するとき、a-Si膜5aへの吸収力が高い紫外領域の光を発し、高出力のパルス光が得られるレーザとして一般に使われている。

【0016】

図8を参照して本発明について更に説明する。

(1) 図8(a)に示すように一つの直線偏光でない平行光線からなる1つのレーザ光線I1を、入射角 $\phi > 1^\circ$ で平坦な試料5に1つの入射面I2から入射することで、図8(c)に示すようにX方向に伸びる入射面I2と平行な結晶粒界で仕切られた周期構造I3が明瞭に得られる。

10

【0017】

(2) 結晶の周期構造I3の結晶粒界による直交間隔Dyは、Y方向に存在し、入射面I2から入射させるレーザ光線I1の波長 λ に一致する。結晶の周期構造I3の前記間隔Dyと直交方向の周期構造I9の間隔Dx、つまり入射面I2に直交するY方向に存在する直交入射面I5と平行な結晶粒界による間隔Dxは、図8(b)に示すsとして得られ、入射面I2から入射させるレーザ光線I1の入射角 ϕ によつてコントロールできる。図8(a)(b)においてNは、レーザ光線I1の光軸が入射する試料5の表面I7に立てた垂直線である。

【0018】

(3) $\phi > 1^\circ$ に設定することで、反射波のY方向の電場強度Eが高くなり、X軸、Y軸の二方向に周期性を持つた結晶を形成することができる。このとき、周期性構造の1つの結晶の結晶粒界は、対向する2辺が平行をなす矩形を形成している。周期構造I3の平行が強く明確に得られ、周期構造I9の平行が弱く得られる。

20

【0019】

(4) レーザ光線I1の照射による結晶の周期性の間隔Dxは、 $Dx = \lambda / (1 - \sin \phi)$ であつた。この周期性の間隔Dxは、結晶粒の大きさに相当し、 $0^\circ < \phi < 90^\circ$ の範囲に設定することにより、照射するレーザ光線I1の波長 λ より大きくなる。

【0020】

(5) 図18の装置によるレーザ光2を、互いに直交するシリンドリカル・レンズA3から構成されるホモジナイザーA1、A2に透過させ、図8(a)に示すように試料5の移動方向であるX方向に沿うレーザ光線I1を入射角 ϕ で入射すれば、 $\phi > 1^\circ$ に設定し、入射角 ϕ の大きさを調整・変更することで、図8(d)に示す平行な周期構造I9の間隔Dxは ϕ と共に大きくなる。

30

【0021】

(6) 実際に使用した直線偏光でないレーザ光線I1は、波長： $\lambda = 308 \text{ nm}$ の光を発生するエキシマレーザで、レーザ光線I1を照射した試料5はa-Si膜5aで、a-Si膜5aは、レーザ光線I1の複数回の照射により熔融・再結晶化してp-Si膜5bとなり、p-Si膜5bの結晶粒はレーザ光線I1の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成される。

【0022】

結晶粒の周期性の間隔Dx、Dyは、レーザ光線I1の複数回の照射による再結晶化によつて結晶が十分に成長すれば、結晶粒の大きさに一致する。

40

【0023】

なお、本発明方法及び装置は、a-Si膜の結晶化に最適であるが、半導体レーザ等に使われる回折格子の形成にも適用することができ、レーザ光を照射する試料の種類は限定されない。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の1実施の形態について、従来例と同一機能部分には同一符号を付して説明する。

50

先ず、図 18 に示すレーザ発振器 3 a で生じさせたレーザ光 2 を矩形のラインビームに整形し、このレーザ光 1 1 を図 1 に示す光学系の素子に導き、直線偏光でない平行光線からなる 1 つのレーザ光線 1 1 として試料 5 に照射した。図 1 に示す光学系の素子は、第 1 のミラー C 1、アッテネータ C 3、第 2 のミラー C 2、第 3 のミラー C 4 のように設置し、試料 5 の Si 膜 5 a、5 b への入射角 ϕ を調整できる試料台 C 8 に試料 5 を載置して、各入射角 $\phi = 0, 1, 2, 3, 4, 5^\circ$ で、試料 5 の a-Si 膜 5 a にエネルギー密度を変えてレーザ光線 1 1 を照射し、結晶化した p-Si 膜 5 b を得た。入射角 ϕ を調整できる試料台 C 8 は、入射角 ϕ を 1 度以上とする光学系手段を構成している。なお、第 3 のミラー C 4 を角度調節可能に設置しても入射角 ϕ を調整でき、この場合には第 3 のミラー C 4 が入射角 ϕ を 1 度以上とする光学系手段を構成する。試料 5 を載せる試料台 C 8 は、レーザ光線 1 1 のパルスに合わせて駆動装置（図示せず）によつて X 方向に間欠的に往復駆動させ、X 方向への一連の移動及び照射を終えた後、Y 方向に間欠的に駆動させ、次の X 方向への一連の移動を行つた。C 9 は、レーザアニール装置の真空又は窒素の照射室を示す。

【 0 0 2 5 】

このようにして結晶化した p-Si 膜 5 b の結晶粒を図 13 に示す計測装置によつて計測し、レーザ光線 1 1 の定在波により発生した熱強度分布に従つて形成されることを確認した。

【 0 0 2 6 】

レーザ光線 1 1 の照射によつて結晶化した p-Si 膜 5 b の結晶粒の周期性を評価するための結晶の計測装置（評価装置）について説明する。結晶粒の周期性の評価は、本出願人に係る特許出願（特願 2002-118117）に記載される結晶評価方法・装置を用いた。この結晶評価方法は、図 12 に示すように、レーザ光 2 により結晶化した p-Si 膜 5 b の表面に、p-Si 膜 5 b 平面からの法線 z_n と計測用入射角 α をなす平行光からなる光束 3 1 を入射させ、この光束 3 1 による p-Si 膜 5 b の表面からの回折光 3 2 を、前記法線 z_n と回折角 β をなす位置で検出するものである。この計測用入射角 α 及び回折角 β の範囲を、共に 0° 以上 90° 以下に限定して正反射光 3 5 を含まない回折光 3 2 を得、回折光 3 2 のスペクトル強度から、p-Si 膜 5 b における結晶粒の分布の規則性を評価する。また、回折光 3 2 のスペクトルのピークを示す波長 ν_{max} を測定し、結晶粒の大きさ D_x を後記するように算出することができる。

【 0 0 2 7 】

回折光 3 2 の検出を正反射光 3 5 の方向（反射角： $-\alpha$ ）もしくはその近傍で行うと、回折光 3 2 のスペクトル強度に比べて正反射光 3 5 のスペクトル強度の方が非常に高いため、重畳した二つのスペクトル成分から回折光 3 2 のスペクトル成分のみを分離することは困難である。そこで、回折光 3 2 のスペクトルのみを精度良く検出するために、 α 及び β を共に 0° 以上 90° 以下に限定し、正反射光 3 5 を含まない回折光 3 2 を得るようにする。突起 3 8 で囲まれた平坦部 3 9 で、反射の法則に従う角度方向（ $-\alpha$ ）に正反射光 3 5 が進む。

【 0 0 2 8 】

従つて、図 12 に示す正面視で、計測用入射角 α で平行光からなる光束 3 1 を入射させるとき、p-Si 膜 5 b の平面からの法線 z_n に対し、光束 3 1 と同一側で回折光 3 2 を計測する。この p-Si 膜 5 b は、結晶粒形成直後のものであり、エッチングは施していない。なお、光束 3 1 及び回折光 3 2 の大きさは、結晶粒の面積の 1 万倍以上はある。

【 0 0 2 9 】

このようにして、スペクトルが連続である光束 3 1 を入射し、p-Si 膜 5 b の結晶粒界にあるいくつかの突起 3 8（数十 nm）で発生した回折光 3 2 を計測し、計測装置の回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光の照射エネルギー密度（ mJ/cm^2 ）を設定し、p-Si 膜 5 b における結晶粒の配列・分布の規則性を良好になし得る。スペクトルの同一波長に現れる強度の大きさから結晶粒の配列・分布の規則性の有無が分かるので、特に、結晶の周期性

構造を形成した直後に、入射面 I 2 又は入射面 I 5 に直交する入射面 (I 5 又は I 2) より計測装置の平行光からなる光束 3 1 を入射することで、周期性構造を計測し、計測装置の回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が所定の大きさ以上になるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線 I 1 の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の配列・分布の規則性を良好になしなが、その後の周期性構造を形成することができる。回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} を含む強度は、後記する表示装置 4 7 によつて知ることができる。

【 0 0 3 0 】

すなわち、予め、レーザ光 (2) の使用できる照射エネルギー密度範囲内で、結晶化に最適な回折光 3 2 のスペクトル強度 (ピーク強度 I_{max}) 及び波長を決定しておけば、結晶化 S i 膜 5 b の形成直後、常に回折光 3 2 のスペクトル強度及び波長を監視し、スペクトル強度及び波長を一定に保つようにレーザ光 (2) のエネルギー密度を制御することにより、結晶粒配列の規則性を一定範囲に保つて結晶化 S i 膜 5 b を作製することができる。回折光 3 2 のスペクトル強度及び波長が変化する原因としては、レーザ発振器 3 a やホモジナイザー A 1, A 2、反射ミラー 3 b, 3 c 等及び集光レンズ 1 1 からなる光学系の特性が変化した場合がある。

【 0 0 3 1 】

また、結晶粒の大きさ D_x を求め、結晶粒の大きさ D_x を一定範囲に保ちながら結晶化 S i 膜 5 b を作製することもできる。すなわち、計測用入射角 α 、回折角 β 及び回折光 3 2 のスペクトル波長 ν は既知の値となり、回折条件式： $D (\sin \alpha + \sin \beta) = n \cdot \nu$ (n は回折光の次数) より導かれる $D = n \cdot \nu / (\sin \alpha + \sin \beta)$ なる式によつて、結晶粒 3 4 の大きさ D_x を瞬時に算出することができる。これにより、p-S i 膜 5 b の結晶粒の配列・分布の規則性の優劣及び結晶粒の大きさ D の適否を短時間で評価し、規則性のある結晶粒 3 4 を形成し、T F T 等に最適な大きさ D の p-S i 膜 5 b を得ることができる。このスペクトル波長 ν は、結晶化後の試料 5 に光束 3 1 を入射して得られる回折光 3 2 のスペクトルで鋭いピークを示す波長 ν_{max} であり、例えば a-S i 膜 5 a に光束 3 1 を入射した場合と比較して、p-S i 膜 5 b に光束 3 1 を入射したときの回折光 3 2 のスペクトルの中で、その強度に明確な鋭いピークを示す波長 ν_{max} である。

【 0 0 3 2 】

従つて、結晶の周期性構造を評価するための計測装置は、図 1 3 に示すように、レーザ光 2 により結晶化した p-S i 膜 5 b の表面に、p-S i 膜 5 b 平面からの法線 z_n と計測用入射角 α をなす光束 3 1 を入射させる光源 (4 1, 4 2) と、この光束 3 1 による p-S i 膜 5 b の表面からの回折光 3 2 を、前記法線 z_n と回折角 β をなす位置で受光すると共にスペクトルを示す分光器 4 6 とを備える。

【 0 0 3 3 】

光源 (4 1, 4 2) は、図 1 3 に示すようにハロゲンランプによつて得られる連続光 4 1 と照射用光ファイバー 4 2 とを有し、所定波長 ($\nu = 380 \sim 800 \text{ nm}$) の連続光 4 1 が照射用光ファイバー 4 2 に導かれ、光ファイバー 4 2 の先端から出る光がレンズ 4 4 によつて光束 3 1 とされ、p-S i 膜 5 b に計測用入射角 α にて入射し、S i 膜 5 b 上で回折角 β にて回折した平行光からなる回折光 3 2 を生ずる。この回折光 3 2 がレンズ 4 4 によつて集束され、受光用光ファイバー 4 5 に導かれて分光器 4 6 に入るので、表示装置 4 7 にスペクトルを表示させ、最大のピーク強度 I_{max} が得られる波長 (ν_{max}) を知ることができる。

【 0 0 3 4 】

なお、照射用光ファイバー 4 2 から $u = 0.2 \text{ mm}$ だけ平行に離れた位置にある受光用光ファイバー 4 5 に角度 2δ で回折光 3 2 を入射させたが、 u は ν (レンズ 4 4 と p-S i 膜 5 b との距離 95 mm) に比べて十分に小さい ($0.2 / 95 = 0.002 = 2 \text{ mrad}$) ので無視できるものである。

【 0 0 3 5 】

また、p-S i 膜 5 b においては、結晶粒の配列・分布の規則性が方向により異なる。こ

のため、図 1 4 に示すように、光束 3 1 の p - S i 膜 5 b への入射位置（図 1 4 の O 位置付近）と計測用入射角 α とを固定した状態で、p - S i 膜 5 b の Y 方向に対する入射角 θ （入射方向）を相対変化させ、複数の変化位置における回折光 3 2 のスペクトル強度及び波長の変化を調べることににより、結晶粒の配列方向を知ることができる。回折光 3 2 のスペクトル強度及び波長の変化を調べることににより、各方向での結晶粒 3 4 の規則性のみならず大きさ D を知ることができる。結晶粒の大きさ D は、突起 3 8 で囲まれた 1 つの平坦部 3 9 の大きさである。

【 0 0 3 6 】

実際に、レーザ光線 I 1 を照射して結晶化した p - S i 膜 5 b について、上記結晶の計測装置により、入射方向 θ （入射角）を $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲で変えてスペクトルの最大強度 I m a x と、I m a x が得られる波長 ν m a x とを計測した。図 2 に入射角 $\phi = 0, 1, 2, 3, 4, 5^{\circ}$ におけるスペクトルの強度の入射方向 θ 依存性を示し、図 3 にスペクトルの最大強度 I m a x が得られる波長 ν m a x の入射方向 θ 依存性を示す。入射方向 θ は、結晶の計測装置の光束 3 1 の方向で、結晶化後の試料 5 表面に平行でスキャン方向（試料台 C 8 の移動方向 X）と直交する Y 方向を $\theta = 0^{\circ}$ とした。

【 0 0 3 7 】

ここで、角度 θ 、 α 、 ϕ は、次の通りである。

θ : 図 1 4 に示すように、結晶の計測装置の光束 3 1 の試料 5 面（反射面）内の Y 方向に対する入射方向の角度

α : 結晶の計測装置の光束 3 1 の計測用入射角

ϕ : 結晶化するためのレーザ光線 I 1（ラインビーム）の入射角であり、試料 5 面（反射面）に対して垂直な入射面 I 2 に存在する

【 0 0 3 8 】

図 2 に示すように、 $\phi = 0^{\circ}$ として結晶化させた場合は、光束 3 1 の入射方向 θ の如何によらずほぼ一定であり、結晶粒界が異方性を有していない。一方、 $\phi = 1 \sim 5^{\circ}$ として結晶化させた場合は、スペクトル強度は入射方向 $\theta = 0^{\circ}$ 、 180° で最も大きく（スペクトルの最大強度 I m a x）、入射方向 $\theta = 90^{\circ}$ 、 270° でも若干大きかった。これは、等間隔で明確に生じている結晶粒界に光束 3 1 を照射するときに、多くの回折光 3 2 が明確かつ均質に生ずるためである。

【 0 0 3 9 】

スペクトル最大強度が得られる波長は、図 3 に示すようであり、 $\theta = 90^{\circ}$ 、 270° で最大となり、 ϕ が大きくなると波長は長くなつた。ここで、結晶粒の大きさ D は、 $D = \nu \text{ m a x} / 2 \cdot \sin \alpha$ から計算し、 ϕ と D との関係性を求めた。この式は、回折条件式から導かれる上記式： $D = n \cdot \nu \text{ m a x} / (\sin \alpha + \sin \beta)$ において、 $\beta = \alpha$ とし、かつ、後記するように $n = 1$ としたものである。その結果を図 4（イ）（ロ）に黒丸印で示す。図 4（イ）は、結晶化するためのレーザ光線 I 1 の入射角 $\phi = 0 \sim 5$ 度の範囲で示し、図 4（ロ）は、結晶化するためのレーザ光線 I 1 の入射角 $\phi = 0 \sim 50$ 度の範囲で示す。但し、今回は、結晶の計測装置の光束 3 1 の計測用入射角 $\alpha = 50^{\circ}$ に設定した。

【 0 0 4 0 】

$n = 1$ とする理由について説明する。入射角 $\phi = 5^{\circ}$ としてレーザ光線 I 1 を照射して結晶化 S i 膜 5 b からなる試料 5 を作成すると共に計測装置を使用し、平行光 3 1 の結晶化 S i 膜 5 b への照射方向を、照射した矩形をなすラインビーム（I 1）の長軸方向（Y 方向）つまり図 8 に示す $\theta = 0^{\circ}$ 、 90° とし、回折光 3 2 を得た。

【 0 0 4 1 】

結晶化 S i 膜 5 b に、波長 ν が約 $380 \sim 800 \text{ nm}$ の連続スペクトル光 4 1 を照射用光ファイバー 4 2 で伝送し、光ファイバー 4 2 の出射口から 21 mm の位置に配置した焦点距離 $f = 21 \text{ mm}$ の凸レンズ 4 4 によつて平行光 3 1 となし、レンズ 4 4 から $\nu = 95 \text{ m}$ の距離に保つた結晶化 S i 膜 5 b に、計測用入射角 $\alpha = 50^{\circ}$ で平行光 3 1 を照射した。

【 0 0 4 2 】

一方、結晶化 S i 膜 5 b の表面からの回折光 3 2 を先の凸レンズ 4 4 を透過させ、照射用光ファイバー 4 2 から $u = 0.2 \text{ mm}$ だけ平行に離れた位置にある受光用光ファイバー 4 5 に角度 2δ で入射させた。ここで、上述したように u は v に比べて十分に小さい ($0.2/95 = 0.002 = 2 \text{ mrad}$) ため、回折光 3 2 の回折角 β を照射した平行光 3 1 の入射角 α と同じ $\beta = \alpha = 50^\circ$ とみなした。

【 0 0 4 3 】

このような条件で分光器 4 6 を用いて測定した回折光 3 2 のスペクトルを、 $300 \sim 800 \text{ nm}$ の波長範囲で図 1 5 に示す。図 1 5 (a) において実線 i で示す $\theta = 0$ 度の回折光 3 2 のスペクトルは、波長 500 nm 付近における鋭いピーク強度 I_{max} があり、破線 i i で示す $\theta = 90$ 度の回折光 3 2 のスペクトルは、波長 585 nm 付近における鋭いピーク強度 I_{max} がある。他の波長域の連続スペクトルは、照射した平行光 3 1 が結晶化 S i 膜 5 b の表面で乱反射して受光用光ファイバー 4 5 に検出された成分である。参照のため、同様の測定をレーザ照射前の a - S i 膜 5 a に対して行つた場合の測定値も同じグラフ上に薄い実線 i i i で示した。なお、図 1 5 (b) は、図 1 5 (a) の実線 i 及び破線 i i で示す p - S i 膜 5 b のデータを薄い実線 i i i で示す a - S i 膜 5 a のデータで割算した結果を示すものであり、実線 i v は $\theta = 0$ 度の結果を示し、破線 v は $\theta = 90$ 度の結果を示す。図 1 5 (b) によつても、図 1 5 (a) と同様のピーク強度 I_{max} が知られる。

【 0 0 4 4 】

この鋭いピーク強度 I_{max} を伴う結果から、結晶粒の配列・分布に適当な規則性があることが分かるので、次に結晶化 S i 膜 5 b の結晶粒の大きさ D (D_x) を算出する。先ず、回折光 3 2 の次数は、分光器 4 6 での波長測定で 500 nm 及び 585 nm (ν_{max}) 以外の波長に強いスペクトルが見られなかつたことから、これが 1 次であり、上記 $D = n \cdot \nu / (\sin \alpha + \sin \beta)$ なる式で $n = 1$ とする。

【 0 0 4 5 】

なお、図 1 5 に示すように、平行光 3 1 の結晶化 S i 膜 5 b への照射方向を、照射した矩形をなすラインビーム (I 1) の長軸方向 (Y 方向) つまり図 8 に示す $\theta = 0^\circ$ とし、回折光 3 2 を得ることができるのみならず、平行光 3 1 の結晶化 S i 膜 5 b への照射方向を、照射した矩形をなすラインビーム (I 1) の短軸方向 (X 方向) つまり図 8 に示す $\theta = 90^\circ$ とし、回折光 3 2 を得ることもできる。従つて、入射面 I 2 に直交する入射面 I 5 より計測装置の平行光からなる光束 3 1 を入射し、計測装置の回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が図 1 5 (a) (b) に示す所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線 I 1 の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の配列・分布の規則性を良好になしながら、その後の周期性構造を形成することができるのみならず、入射面 I 5 に直交する入射面 I 2 より計測装置の平行光からなる光束 3 1 を入射し、周期性構造を計測し、計測装置の回折光 3 2 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光線 I 1 の照射エネルギー密度を設定し、結晶粒の配列・分布の規則性を良好になしながら、その後の周期性構造を形成することができる。

【 0 0 4 6 】

理論的には、入射角 α と回折角 β の値は異なつても問題ないが、レンズ 4 4 が 1 つで照射する平行光 3 1 及び回折光 3 2 の検出のための機構構成が簡素になるため、図 1 3 に示すような入射角 α と回折角 β とが事実上同じ角度になる測定装置が望ましい。

【 0 0 4 7 】

次に、周期性構造をなす結晶の結晶粒界の対向する 2 辺が平行をなし、結晶粒の配列・分布に規則性が生ずる理由について検討する。 $\phi = 0, 1, 5^\circ$ のときの SEM 像 (図 5) を観察すると、 $\phi = 0^\circ$ のときの結晶粒界の凸部は円弧状であり、 $\phi = 5^\circ$ のときの結晶粒界の凸部は直線状である。また、 $\phi = 1^\circ$ のときには、直線状の周期パターンの中に、 $\phi = 0^\circ$ のときの円弧状パターンが部分的に見られた。なお、図 5 (c) は、図 1 6 と実質的に同じである。

【 0 0 4 8 】

レーザ光線 I 1 の入射角 $\phi = 0^\circ$ で p - S i 膜 5 b の結晶は試料 5 面内で等方的 (図 5 (a) の $\phi = 0^\circ$) であるが、 $\phi > 1^\circ$ で入射面 I 2 と直交する方向の結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の間隔 D_x (図 5 (b) , (c) の $\phi = 1, 5^\circ$) が次第に大きくなる原因は、次のように推測される。

【 0 0 4 9 】

平行光線が平坦状の試料 5 に入射したとき、試料 5 表面に微小な凹凸があると散乱光 (ないし回折光) が発生し、球面波が形成される。入射光である平面波と、反射光である球面波とは互いに干渉し、電場強度分布は、レーザ光線 I 1 の入射角 ϕ の方向に依存する。これについて図 6 を参照して説明する。

10

【 0 0 5 0 】

エキシマレーザ光は、図 6 (b) に示すように特定の方向が偏光していないランダム偏光 G 7 であるが、図 6 (a) に示すように偏光していないレーザ光線 I 1 が入射角 ϕ で試料 5 の表面 I 7 に入射すると、反射光 I 1' は、図 6 (c) に示すように X 方向を含む入射面 I 2 と垂直な Y 方向の電場強度 G 5 が強い光となる。従つて、入射面 I 2 と平行な X 方向に沿う干渉が強く起こり、試料 5 の温度は電場 E とすれば E^2 に比例するため、干渉により強めあつた位置の温度が高くなり、図 8 に示す直交間隔 D_y を有する結晶の周期構造 I 3 が生ずる。

【 0 0 5 1 】

次に、平面視で X 方向から入射する平面波 I I 1 である入射光 I 1 (レーザ光線) と反射 20 光とがどのように干渉するかを模式図 (図 7) を参照して説明する。図 7 (a) に示すように時間 t で入射光の平面波 I I 1 の一つの平面波面 n が試料 5 に入射角 ϕ で入射すると、 λ / c 後に、1 波長遅れた平面波面 $n + 1$ が試料 5 面 I 7 に到達し、反射光 I 1' の球面波 I I 3 の一つの波面 n' は平面波面 n より位相が $1 / 2 \cdot \lambda$ ずれて発生するため、図 7 (b) に示すように時間 $t + 3 / 2 \cdot \lambda / c$ で、平面波面 $n + 1$ と球面波面 n' とが強め合う。ここで、 λ は入射光 I 1 の波長、 c は光速である。

【 0 0 5 2 】

更に時間 T 後に、図 7 (c) に示すように平面波面 $n + 1$ と球面波面 $n - 1'$ は、点 p において強め合う。このとき、平面波面 $n + 1$ と表面 I 7 との交点位置は、時間 T 後に、 o から p に移動し、距離 $op = s$ とすれば、

30

$$s = c T / \sin \phi \quad \dots \dots \dots (1)$$

【 0 0 5 3 】

球面波面 $n - 1'$ は、 o から λ 離れた位置より、光束 c で表面 I 7 を移動するため、

$$s = \lambda + c T \quad \dots \dots \dots (2)$$

【 0 0 5 4 】

(1) (2) より

$$T = (\lambda / c) (\sin \phi / (1 - \sin \phi)) \dots (3)$$

【 0 0 5 5 】

(3) を (1) に代入し、

$$s = \lambda / (1 - \sin \phi) \quad \dots \dots \dots (4)$$

40

この距離 s を図 8 (b) に示す。

【 0 0 5 6 】

従つて、図 7 の試料 5 面 I 7 では、平面波 I I 1 である入射光 I 1 と反射光 I 1' とが間隔 s で電場強度 E が強め合う。また、この距離 s は、多数の結晶粒の周期性の間隔 (結晶粒の大きさ) D に成長する。これにより、結晶の周期構造 I 9 の周期性の間隔 D_x が生ずる。図 4 (イ) (ロ) の結果に上記 (4) 式の結果を実線で示した。回折条件式から導かれる式 : $D = v_{\max} / 2 \cdot \sin \alpha$ による結果を示す黒丸印とよく一致した。

【 0 0 5 7 】

一方、結晶の周期構造 I 9 と直交方向の結晶の周期構造 I 3 の周期性の直交間隔 D_y は、上記 (4) 式において $\phi = 0$ として、 $s = \lambda$ にて求まる。この間隔 D_y は、レーザ光線 I 50

1 の電場強度 E が強め合つて生ずるが、電場強度 G 5 が強いいため、比較的明瞭に強く生ずる。この関係を実験結果に基づき表 1 に示す。レーザ光線 I_1 からなる入射波があつて、図 8 に示すように試料 5 面 I_7 の微小凹凸による回折波（反射光 $I_{1'}$ ）が反射波 $I_{1'}$ x 、 $I_{1'}$ y として X 方向及び Y 方向に生じるとき、反射光 $I_{1'}$ の電場強度 E は、 X 方向の反射波 $I_{1'}$ x で弱く Y 方向の反射波 $I_{1'}$ y で強い。従つて、 Si 膜からなる試料 5 上の直交間隔 D_y をなす周期性構造 I_3 の X 方向に伸びる（ Y 方向に繰り返す）結晶粒界は強く、間隔 D_x をなす周期性構造 I_9 の Y 方向に伸びる（ X 方向に繰り返す）結晶粒界は弱く生ずる。

【 0 0 5 8 】

【 表 1 】

10

表 1

入射波	反射波＝ 突起による 回折波	反射波強度	周期間隔： D	周期の方向	Si 膜上の 結晶粒界
I_1	$I_{1'}$ x	弱い	$\lambda / (1 - \sin \phi)$	X	弱い
	$I_{1'}$ y	強い(注 1)	λ	Y	強い

注 1: 反射波(回折波)の強度が強くなるのは、反射波の方向が入射波と直交するとき

20

【 0 0 5 9 】

しかして、前述したように入射面 I_2 と平行な X 方向に沿う干渉が強く起こり、試料 5 の温度は電場 E の二乗に比例し干渉により強めあつた位置の温度が高くなるため、図 8 (c) に示すように間隔 D_y で結晶粒界が比較的強く生ずると同時に、図 8 (d) に示すように間隔 D_x で結晶粒界が弱く生ずる。

【 0 0 6 0 】

Si 膜からなる試料 5 のレーザ光照射時の温度分布の周期は、上記 (4) 式の s に一致するため、入射角 ϕ に依存して大きくなる。 ϕ の大きさを調整することで、結晶の周期性の間隔（結晶粒の大きさ） D_x を調整することができる。図 1 の装置構成を基に、レーザ光 2 を入射面 I_2 から入射光線 I_1 として試料 5 面に入射させるとき、レーザ光線 I_1 （ラインビーム）の短軸方向（ X 方向）の入射角 $\phi = 30^\circ$ とすれば、 $\lambda = 308 \text{ nm}$ の光を発生するエキシマレーザで、間隔： $D_x \times D_y$ が、 $0.308 / (1 - \sin 30^\circ) \times 0.308 / (1 - \sin 0^\circ) = 0.62 \times 0.31 \mu\text{m}$ の方形の結晶粒が得られ、 $\phi = 50^\circ$ とすれば、 $1.3 \times 0.31 \mu\text{m}$ の方形の結晶粒が得られる。

【 0 0 6 1 】

ところで、図 9 に示すように、レーザ光の試料 5 への照射回数が少ないときは結晶の計測装置によるスペクトルにピークがみられず、結晶に周期性が見られない。照射回数を増すことで、ピーク強度 I_{max} が大きくなり、 $320 \sim 340 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ といった最適な照射エネルギー密度による照射では、照射回数が 18 回以上でピーク強度 I_{max} が一定になる傾向がみられる。図 9 から分かるように、結晶に周期性を持たせるためには、試料 5 へのレーザ光の照射回数は複数回が必要であり、5 回以上が好ましい。図 10 に示すように、レーザ光の試料 5 への照射回数を 20 回としたとき、計測装置の回折光 32 のスペクトルのピーク強度 I_{max} が所定の大きさになるように、周期性構造を形成するためのレーザ光の照射エネルギー密度（ $320 \sim 340 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ ）を設定し、 $p-Si$ 膜 5 b における結晶粒の分布の規則性を良好にし得る。

【 0 0 6 2 】

また、液晶パネルの TFT は、図 11 に示すソース・ドレイン H 5 間を流れる電気移動度の大きさが、パネル全体で一定であることが望ましい。電気移動度は、 $p-Si$ 結晶単体 H 3 では単結晶 Si の移動度に相当し、結晶粒界 H 4（突起 38）の移動度は結晶単体 H

50

3 (平坦部 39) に比べて 1 ~ 2 桁大きいといわれている。従つて、パネル全体に点在する TFT の電気移動度を一定にするためには、ソース・ドレイン H5、H5 間の結晶粒界 H4 の数が、パネル全体で一定であることが望ましい。

【 0 0 6 3 】

ソース・ドレイン H5 電極の対向する辺 H2 の方向が一定であれば、ソース・ドレイン H5 間の距離 L に存在する結晶粒の数をパネル全体で均一にするためには、結晶の周期性の間隔 D (D_y , D_x) が結晶粒の大きさに等しいから、 $L = m \cdot D / \cos \omega$ (m は整数) とすることが望ましい。ここで、 ω は、多結晶シリコンからなる p-Si 膜の作製後に形成させるソース・ドレイン H5 (不純物領域) の辺 H2 と結晶粒界 H4 (突起 38) とのなす角度で、結晶粒界 H4 は結晶粒の周期構造 I3, I9 の方向と一致する。

10

【 0 0 6 4 】

このように、結晶粒の大きさ D は TFT のソース・ドレイン H5 間の距離 L に合わせて調整することが望ましいが、本方法によれば、レーザ光線の入射角 ϕ (図 8) を調整することで、容易に D (D_x) を調整することができる。すなわち、入射面 I2 と直交する方向の結晶粒界 H4 で仕切られる結晶の周期性の間隔 D_x が、TFT のソース・ドレイン H5 の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_x / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン H5 の辺 H2 と結晶粒界 H4 とのなす角度となるように、レーザ光線 I1 の入射角 ϕ を調整することができる。

【 0 0 6 5 】

また、レーザ光線の波長 λ を調整して、結晶粒の大きさ D (直交間隔: D_y) を調整することができる。すなわち、入射面 I2 と平行な結晶粒界で仕切られる結晶の周期性の直交間隔 D_y が、TFT のソース・ドレイン H5 の間隔 L に対して、 $L = m \cdot D_y / \cos \omega$ (m は整数)、 ω はソース・ドレイン H5 の辺 H2 と結晶粒界 H4 とのなす角度となるように、レーザ光線 I1 の波長 λ を調整することができる。

20

【 0 0 6 6 】

上記 1 実施の形態にあつては、図 18 に示すレーザ発振器 3a で生じさせたレーザ光 2 を矩形のラインビームに整形し、このレーザ光線 I1 を図 1 に示す光学系の素子に導き、直線偏光でない平行光線からなる 1 つのレーザ光線 I1 として試料 5 に照射したが、図 1 に示す光学系の素子は省略することが可能である。すなわち、図 18 に示す結晶粒の作成装置において、レーザ光線 I1 を入射角 ϕ を与えて 1 つの入射面 I2 から試料 5 に照射するように、入射角 ϕ を 1 度以上に設定できる光学系手段 (図 1 に示す第 3 のミラー C4、試料台 C8 と同様のもの。) を備えさせればよい。例えば、図 18 に示す結晶粒の作成装置において、反射ミラー 3c 及び投影レンズ 11 を一体に傾動させるものを光学系手段とすることができる。

30

【 0 0 6 7 】

更に、上記 1 実施の形態にあつては、直線偏光でない 1 つのレーザ光線 I1 を、ホモジナイザー A1, A2 を通して入射角 ϕ を与えて 1 つの入射面 I2 から試料 5 に照射したが、同時に、直交入射面 I5 から同様の直線偏光でない平行光線からなる 1 つのレーザ光線を試料 5 に照射し、試料 5 を結晶化することも可能である。その際、入射面 I2 及び直交入射面 I5 から入射させる各 1 つのレーザ光線は、同じレーザ発振器 3a で生じさせたレーザ光 2 をハーフミラーを通して分割させて用いることができる。

40

【 0 0 6 8 】

【 発明の効果 】

以上の説明によつて理解されるように、本発明に係る結晶の周期性構造の形成方法及びその装置によれば、次の効果を奏することができる。

レーザ光を試料に照射する前に直線偏光にすることなく、レーザ光線を高出力のままで平坦な試料に照射させながら、試料上に結晶粒からなる良好な周期性構造を形成することが可能になる。結晶粒は、特定の方向に周期性を持ち、かつ、レーザ光の波長より大きくできる。その結果、良好な周期性を持たせた薄膜トランジスタ等の製品を簡素な構造の装置によつて形成することが可能になる。

50

【 0 0 6 9 】

請求項 4, 5, 9, 10 によれば、試料の結晶の周期性の間隔つまり結晶粒の大きさ及び配列方向を知り、薄膜トランジスタのソース・ドレインを適正に配置することができる。特に、結晶粒界数の小さくなる配列方向にソース・ドレインを配置し、結晶粒界において電子の移動度が低下して薄膜トランジスタの電気的特性が悪化することを防止して、薄膜トランジスタの品質を向上させることが可能になる。

【 0 0 7 0 】

また、請求項 6, 11 のように計測装置を使用すれば、p-Si 膜などの試料における結晶粒の配列ないし分布の規則性の評価を簡易に行ない、ひいては、良好なエネルギー密度のレーザ光を試料に照射して、均一かつ適正な規則性を有する結晶を試料の全面に形成することができる。加えて、計測装置の使用により、レーザ光を照射して試料を結晶化させながら、レーザ光のエネルギー密度を制御し、予め決定した結晶化に適する回折光のスペクトル強度及び波長を得ることができる。これにより、レーザ光を照射して試料を結晶化させながら、均一かつ適正な規則性を有する結晶を試料の全面に無駄なく形成することができる。

【 0 0 7 1 】

請求項 12 に記載した結晶の周期性構造によれば、レーザ光線を平坦な試料に照射させて試料上に形成する周期性構造をなす結晶の結晶粒界が、対向する 2 辺が平行をなしている。これにより、品質良好な薄膜トランジスタ等の製品を作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の 1 実施の形態に係る結晶の周期性構造の形成装置の要部を示す正面図。

【図 2】同じくレーザ光線の入射角を変化させて結晶化させた試料に対し、計測装置の光束の入射角を変化させて得た回折光のスペクトルの最大強度（任意単位）特性を示す線図。

【図 3】同じくレーザ光線の入射角を変化させて結晶化させた試料に対し、計測装置の光束の入射角を変化させて得た回折光のスペクトル最大強度が得られる波長特性を示す線図。

【図 4】同じくレーザ光線の入射角－結晶粒の大きさ特性を示す線図であり、図 4（イ）は、結晶化するためのレーザ光線 I 1 の入射角 $\phi = 0 \sim 5$ 度の範囲で示し、図 4（ロ）は、結晶化するためのレーザ光線 I 1 の入射角 $\phi = 0 \sim 50$ 度の範囲で示す。

【図 5】同じくレーザ光線の入射角を変えたときの p-Si 膜の SEM 写真を示し、（a）は入射角： $\phi = 0^\circ$ 、（b）は入射角： $\phi = 1^\circ$ 、（c）は入射角： $\phi = 5^\circ$ を示す。

【図 6】同じくレーザ光線を所定入射角で試料の表面に入射するときの説明図であり、（a）はレーザ光線及び試料を示す説明図、（b）は入射光の電場強度分布を示す説明図、（c）は反射光の電場強度分布を示す説明図。

【図 7】同じく入射光と反射光との干渉を示す模式図であり、（a）は時間 t で入射光の平面波が試料に入射角 ϕ で入射するときを示し、（b）は時間 $t + 3/2 \cdot \lambda / c$ で平面波面 $n + 1$ と球面波面 n' とが強め合う状態を示し、（c）は時間 $t + 3/2 \cdot \lambda / c + T$ で平面波面 $n + 1$ と球面波面 $n - 1'$ とが強め合う状態を示す図。

【図 8】同じくレーザ光線を所定入射角で試料の表面に入射するときの説明図であり、（a）はレーザ光線及び試料を示す説明図、（b）は図 7（c）と同様に平面波面 $n + 1$ と球面波面 n' 、 $n - 1'$ とが強め合う間隔を示し、（c）は X 方向に伸びる結晶粒界で仕切られた周期構造の結晶粒界による直交間隔を示し、（d）は Y 方向に存在する直交入射面と平行な結晶粒界による間隔を示す図。

【図 9】同じくレーザ光線の照射回数－評価装置のスペクトル最大強度（任意単位）特性を示す線図。

【図 10】同じくレーザ光線のエネルギー密度－評価装置のスペクトル最大強度（任意単位）特性を示す線図。

【図 11】同じくソース・ドレインを形成した液晶パネルの TFT を示す概略図。

【図 12】同じく結晶評価装置の原理を示す正面図。

【図 1 3】同じく結晶評価装置を示す正面図。

【図 1 4】同じく結晶評価装置の入射方向を変化させて回折光のスペクトルを得るための説明図。

【図 1 5】同じく評価装置の回折光の波長－強度（任意単位）特性を示す線図であり、図 1 4（a）は測定値の線図、図 1 4（b）は $\theta = 0$ 度及び 90 度とした p-Si 膜の測定値を a-Si 膜のデータで割算した結果を示す。

【図 1 6】同じくレーザ光の入射角を 5° としたときの結晶の SEM 写真を示す図。

【図 1 7】従来のレーザ光の入射角を 0° としたときの結晶の SEM 写真を示す図。

【図 1 8】従来の結晶粒の作成装置を示し、（a）は正面図、（b）は右側面図。

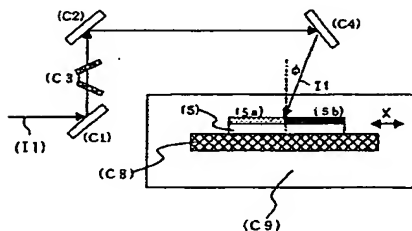
【図 1 9】従来の結晶化 Si 膜の作成装置に組み込むホモジナイザーを示す斜視図。

10

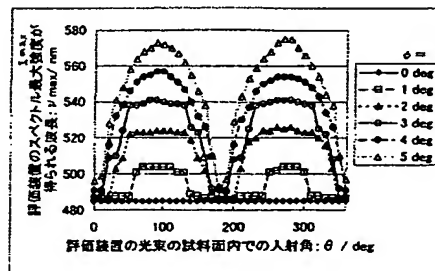
【符号の説明】

3 a : レーザ発振器、5 : 試料、5 a : a-Si 膜、5 b : p-Si 膜、3 1 : 光束、3 2 : 回折光、3 5 : 正反射光、4 1 : 連続光（光源）、4 2 : 照射用光ファイバー（光源）、4 4 : レンズ、4 5 : 受光用光ファイバー、4 6 : 分光器、4 7 : 表示装置、A 1、A 2 : ホモジナイザー、C 4 : 第 3 のミラー（光学系手段）、C 8 : 試料台（光学系手段）、D : 間隔（結晶粒の大きさ）、D x : 間隔、D y : 直交間隔、H 2 : ソース・ドレインの辺、H 4 : 結晶粒界、H 5 : 薄膜トランジスタのソース・ドレイン、I 1 : レーザ光線、I 2 : 入射面、I 5 : 直交入射面、L : ソース・ドレインの間隔、z n : 法線、 α : 計測用入射角、 β : 回折角、 θ : 入射方向、 λ : レーザ光線の波長、 ν : 回折光のスペクトル波長、 ϕ : 入射角。

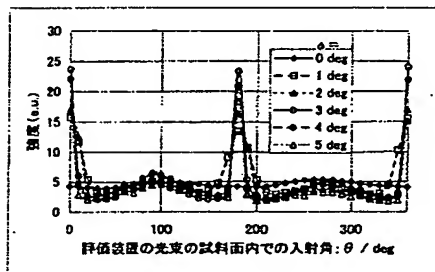
【図 1】



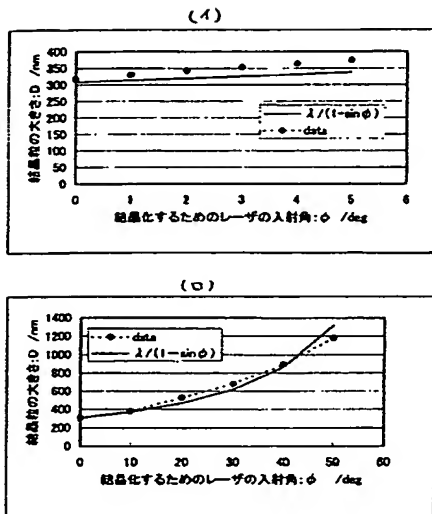
【図 3】



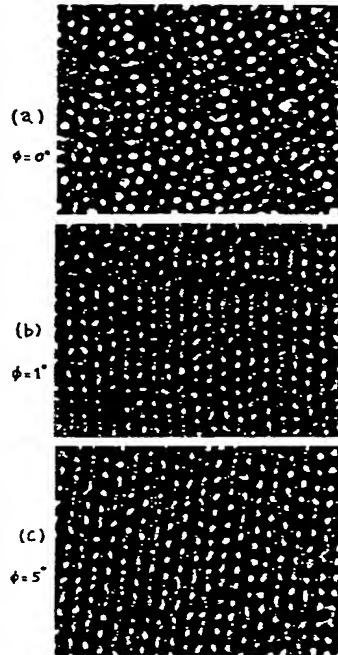
【図 2】



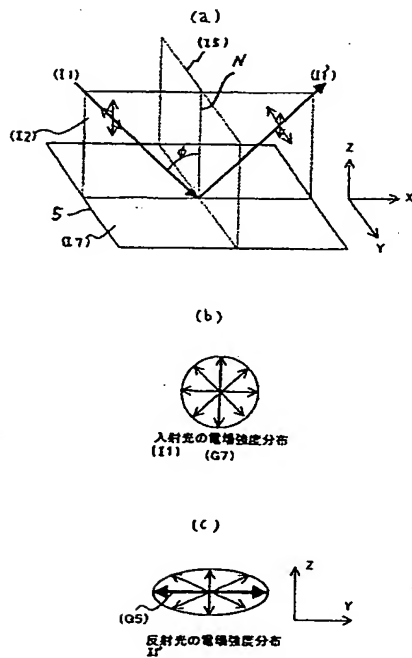
【 図 4 】



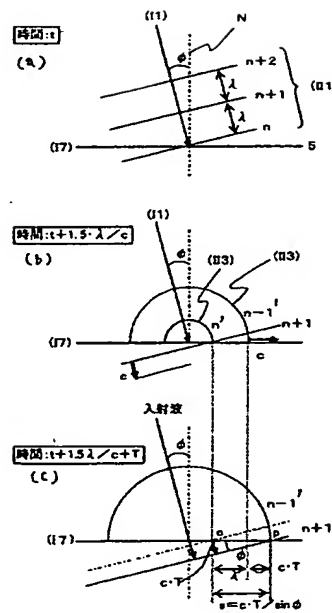
【 図 5 】



【 図 6 】

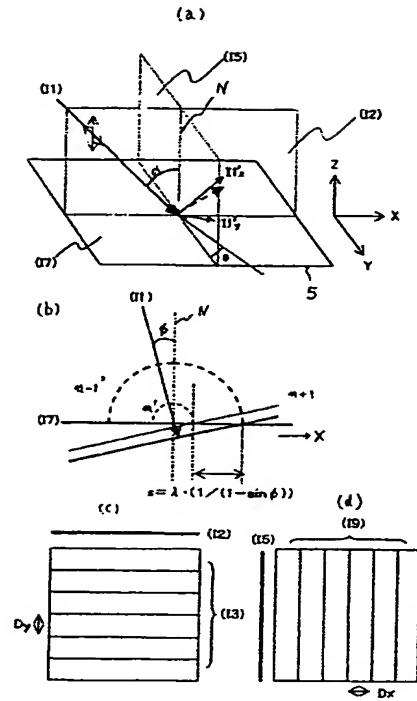


【 図 7 】

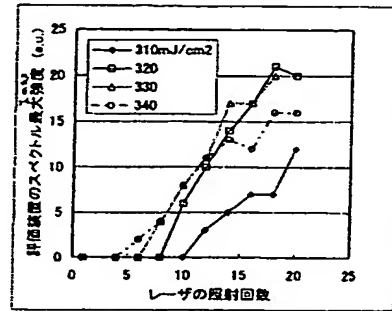


BEST AVAILABLE COPY

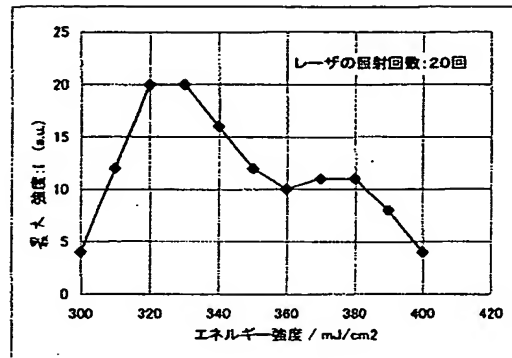
【 図 8 】



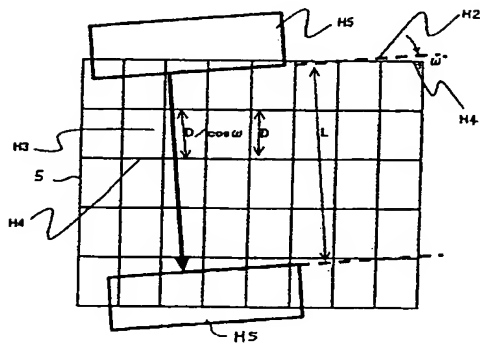
【 図 9 】



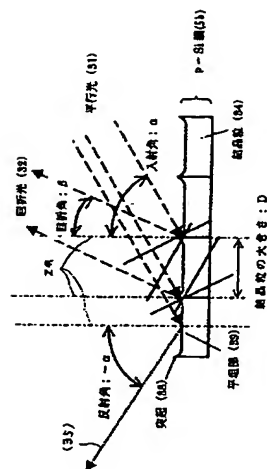
【 図 10 】



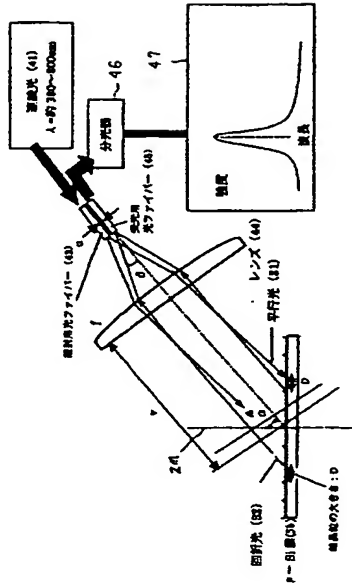
【 図 11 】



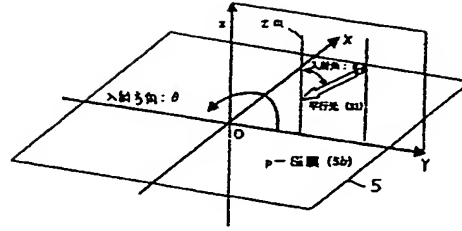
【 図 12 】



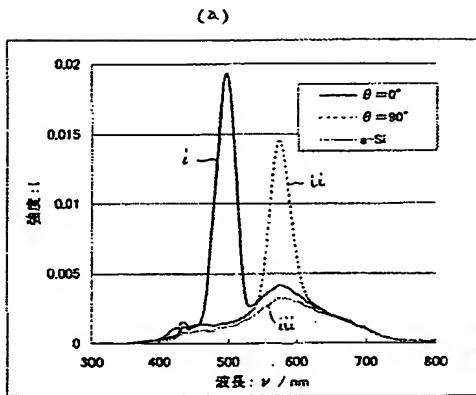
【 図 1 3 】



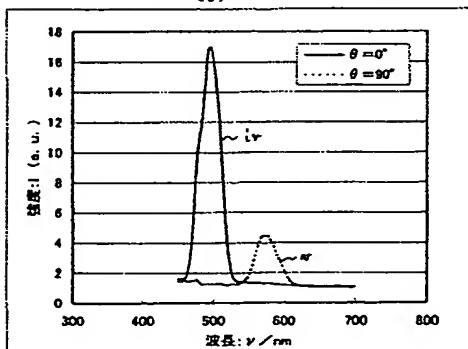
【 図 1 4 】



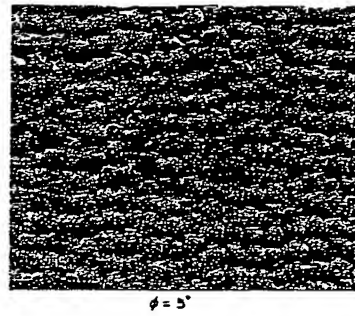
【 図 1 5 】



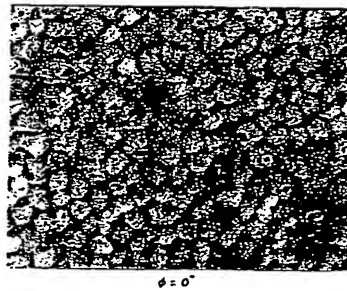
↓ p-Siのデータをp-Si膜のデータで計算
(b)



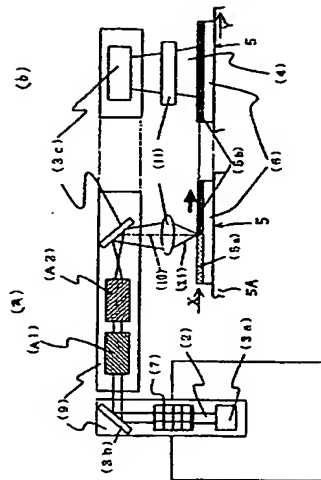
【 図 1 6 】



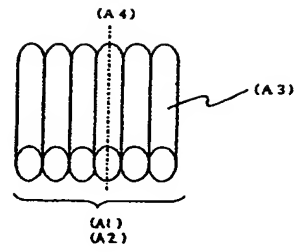
【 図 1 7 】



【 図 18 】



【 図 19 】



フロントページの続き

(72)発明者 内田 良平

神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号

株式会社日本製鋼所内

Fターム(参考) 2H049 AA06 AA34 AA44 AA60

5F052 AA02 BA07 BB07 DA02 JA01